

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie

Zentralabitur 2017

Physik
Grundkurs

Aufgaben
Erwartungshorizonte

Zentrale schriftliche Abiturprüfung **2017**

Physik

Grundkurs

Aufgabenstellung A **für Prüflinge**

Inhalt:	**Elektrisches Feld**
Titel:	**Abgasreinigung mit einem Elektrofilter**
Aufgabenart:	Aufgabe mit Materialien
Hilfsmittel:	Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung
Gesamtbearbeitungszeit:	210 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

Abgasreinigung mit einem Elektrofilter

Zur Sicherung der Grundversorgung mit elektrischer Energie sind wir nach Abschaltung der Atomkraftwerke noch länger auf moderne Kohlekraftwerke angewiesen. Diese Kohlekraftwerke verfügen über moderne Filteranlagen, die in verschiedenen Verfahren nahezu alle Schadstoffe aus den Abgasen entfernen.

Die folgende Aufgabe befasst sich mit der Frage, wie man unter Nutzung elektrischer Felder Rußpartikel aus dem Abgas weitgehend entfernen kann.

Aufgaben: **BE**

1 Erläutern Sie den Begriff „elektrisches Feld“. **10**

Beschreiben Sie, welche Informationen über das elektrische Feld in einem Elektrofilter dem Feldlinienbild in Abbildung 2 entnommen werden können.

2 Zeigen Sie mithilfe einer Rechnung, dass die elektrische Feldstärke an der gekrümmten Oberfläche von Drähten ohne Zacken in der Filteranlage für die Aussendung von Elektronen nicht ausreicht. **10**

Begründen Sie die Notwendigkeit von Spitzen an den Drähten für die Freisetzung von Elektronen.

3 Berechnen Sie die durchschnittliche Ladung eines Rußpartikels im Kraftwerk Reuter West. **16**

[Kontrollergebnis: $q = 1{,}4 \cdot 10^{-14}\,\mathrm{C}$]

Berechnen Sie für einen Rußpartikel die Gewichtskraft und die elektrische Feldkraft im Elektrofilter unter der Annahme homogener Felder.

Vergleichen Sie den Einfluss beider Kräfte auf die Bewegung eines Rußpartikels.

4 Beschreiben Sie die Abhängigkeit des Abscheidegrades eines Elektrofilters von der Gasgeschwindigkeit. **8**

Erläutern Sie eine mögliche Ursache für den dargestellten Zusammenhang.

5 Beurteilen Sie in einem zusammenhängenden Text die im Material 6 getroffenen Aussagen. Verwenden Sie für Ihre Argumentation die stark vereinfachte Modellannahme des Elektrofilters als Plattenkondensator. **6**

Material 1: Filteranlage

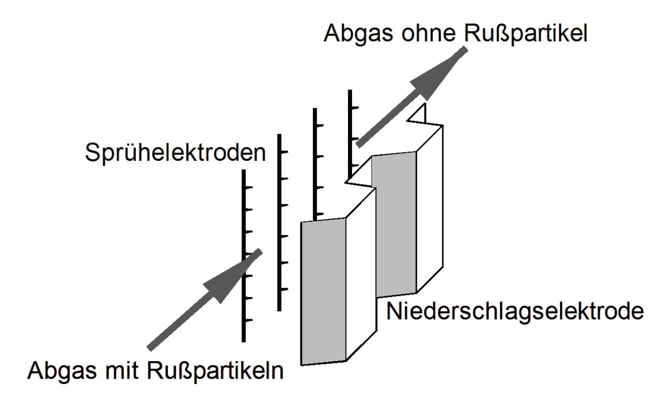


Abbildung 1:
Elektrofilter einer Rauchgasanlage

In einem Elektrofilter werden die Rußpartikel aus dem Abgas eines Kraftwerks entfernt. Die Abbildung 1 zeigt den stark vereinfachten Aufbau eines solchen Filters.

Das Abgas mit den Rußpartikeln durchströmt diese Anordnung von vorn nach hinten. Vor einer positiv geladenen Platte sind mehrere negativ geladene Drähte angeordnet. Aus diesen Drähten, den Sprühelektroden, treten Elektronen aus und laden die Rußpartikel negativ auf. Die geladenen Rußpartikel lagern sich an den positiv geladenen Platten an. Diese Platten nennt man Niederschlagselektrode.

Eine solche Anordnung wird als Filtergasse bezeichnet, den Abstand zwischen Sprühelektroden und Niederschlagselektrode nennt man Gassenweite.

Material 2: Elektrisches Feld in einem Elektrofilter

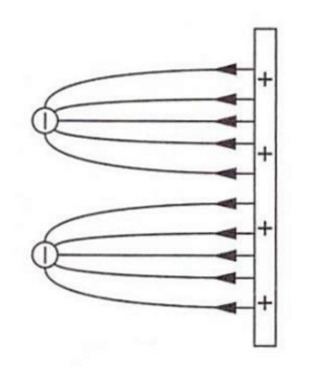


Abbildung 2: Feldlinienbild eines Elektrofilters

Ein Modell zur Veranschaulichung elektrischer Felder ist die Darstellung des Feldes mit Hilfe von Feldlinienbildern.

Die Abbildung 2 zeigt ein vereinfachtes Feldlinienbild für das elektrische Feld zwischen zwei Drähten und der Niederschlagselektrode in einem Elektrofilter.

Material 3: Spitzenentladung im Elektrofilter

Zwischen der Platte und den Drähten in der Filteranlage wird eine Spannung von 50 kV angelegt. Auf der Oberfläche der Drähte befinden sich viele kleine Zacken. Ohne Zacken haben diese Drähte einen Durchmesser von 3 mm. Die scharfen Spitzen der Zacken haben einen sehr viel kleineren Krümmungsradius als die Drähte.

Das Austreten der Elektronen aus den Zacken an den Drähten wird als Spitzenentladung bezeichnet. Zu Spitzenentladungen kommt es nur dann, wenn die elektrische Feldstärke an den Oberflächen der Leiter Werte über $10^9\ \frac{\text{V}}{\text{m}}$ annimmt. Beim Austreten der Elektronen sind Blitze zu beobachten.

elektrische Feldstärke an gekrümmten Oberflächen	$E = \frac{U}{r}$	E … elektrische Feldstärke U … Spannung r … Krümmungsradius der Oberfläche

Material 4: Daten eines Elektrofilters

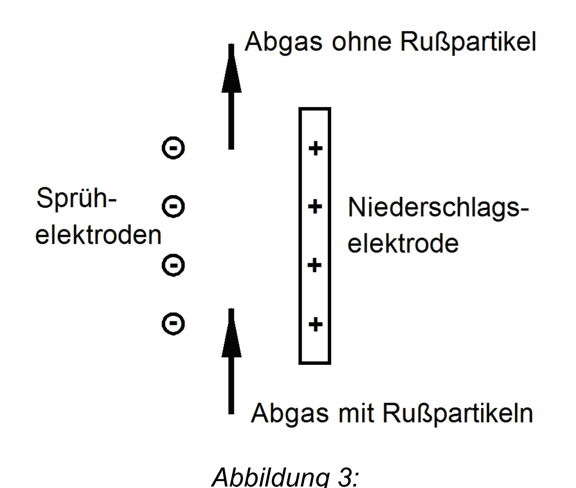


Abbildung 3:

Stark vereinfachtes Modell eines Filters

Das Kraftwerk Reuter West arbeitet durchgängig an 365 Tagen im Jahr. Dabei werden mit einem Elektrofilter 4100 Tonnen Ruß abgeschieden. Die negativ geladenen Rußpartikel haben durchschnittlich eine Masse von $6 \cdot 10^{-15}$ kg und eine Ladung q. Sie erzeugen im Filter einen konstanten elektrischen Strom der Stärke 0,3 A.

Das elektrische Feld einer Filtergasse kann für die Rechnung in starker Vereinfachung durch das Feld eines Plattenkondensators mit dem Plattenabstand 30 cm beschrieben werden. Der Kondensator sei an eine Quelle mit der Spannung von 50 kV angeschlossen.

Die Abbildung 3 zeigt so ein stark vereinfachtes Modell.

Material 5: Abscheidegrad einer Filteranlage

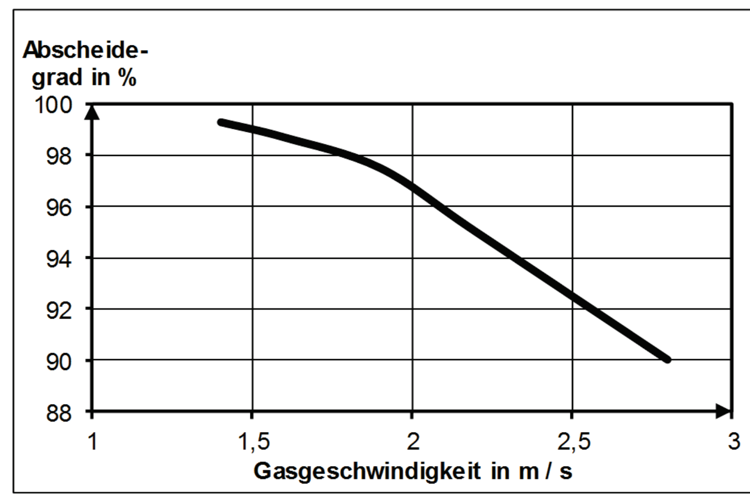


Abbildung 4: Abscheidegrad einer Filteranlage

Der Gesetzgeber schreibt Grenzwerte für die Staubbelastung in gereinigten Abgasen vor. Für Großfeuerungsanlagen mit einer Leistung über 300 MW liegt der Grenzwert bei einem Abscheidegrad von 99,9 %.

Als Abscheidegrad wird das Verhältnis von der im Filter abgeschiedenen zu der in den Filter eingetretenen Stoffmenge bezeichnet.

Material 6: Untersuchungen zum Einfluss der Gassenweite

Um in leistungsstarken Kraftwerken die entsprechenden Normwerte zu erreichen, müssen große Menge an Abgasen gereinigt werden. Dazu wurde neben der Gasgeschwindigkeit auch der Einfluss der Gassenweite auf die Menge und die Qualität der gereinigten Abgase untersucht. Dabei wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Der Abscheidegrad eines Elektrofilters verändert sich kaum, wenn die Spannung zwischen Sprüh- und Niederschlagselektrode proportional mit dem Abstand erhöht wird.
- Beim Einsatz größerer Gassenweiten führt die erforderliche höhere Spannung zu einem komplizierteren konstruktiven Aufbau des Elektrofilters.

Quellen:

[1] Peter Welsmüller: Umweltschutz in der metallverarbeitenden Industrie, Vieweg und Teubner 2012

[2] http://www.patent-de.com/20060209/DE102004033816B3.html, gesichtet am 26.05.2016

[3] Daten für das Kraftwerk Reuter West: www.thrue.de, gesichtet am 12.05.2016

Zentrale schriftliche Abiturprüfung 2017

Physik

Grundkurs

Erwartungshorizont A für Lehrkräfte

Bitte kontrollieren Sie vor Beginn der Arbeit die Vollständigkeit der Aufgabensätze für die Prüflinge.

Aufgabenart: Aufgabe mit Materialien

Hilfsmittel: Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung

Titel: **Abgasreinigung mit einem Elektrofilter**

Die Beschreibungen der erwarteten Schülerleistungen enthalten keine vollständigen Lösungen, sondern nur kurze Angaben. Hier nicht genannte, aber gleichwertige Lösungswege sind gleichberechtigt.

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB		
		I	II	III
1	*Kompetenzen: Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen (Kommunikation), Wiedergeben von einfachen Daten und Fakten sowie von Begriffen, Größen und Einheiten und deren Definitionen (Fachkenntnisse)* Feldbegriff, z.B.: Ein elektrisch geladener Körper verändert den Raum um ihn, auf geeignete Körper wirkt eine elektrische Kraft. Beschreiben der Feldeigenschaften an Hand des Feldlinienbildes, z. B.: • radiales Feld in der Nähe der Punktladung, näherungsweise homogenes Feld in der Nähe der Platte, • Kraftwirkung entlang der Feldlinien, • Stärke der Kraft ist an der Feldliniendichte erkennbar.	**3** **7**		
2	*Kompetenzen: Entnehmen von Informationen aus einfachen Texten (Fachkenntnisse), präzises Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen (Kommunikation)* Berechnung der elektrischen Feldstärke an der Oberfläche der Drähte: $E=\frac{U}{r}=\frac{50\,\text{kV}}{1{,}5\,\text{mm}}\approx 3{,}3\cdot 10^7\,\frac{\text{V}}{\text{m}}$ Erkenntnis: Diese Feldstärke reicht zum Austritt der Elektronen durch Spitzenentladung nicht aus. Die Spitzen an den Drähten sind Oberflächen mit sehr kleinem Krümmungsradius, so dass die elektrische Feldstärke Werte über 10^9 V /m annimmt und Elektronen austreten können.	**6**	**4**	

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB I	AB II	AB III
3	*Kompetenzen: Auswählen und Verknüpfen von Daten, Fakten und Methoden; fachgerechtes Wiedergeben von komplexeren Zusammenhängen (Fachkenntnisse), Übertragen von Betrachtungsweisen und Gesetzen (Fachmethoden)* Berechnung der durchschnittlichen Ladung, z. B.: Pro Sekunde werden 0,13 kg Rußpartikel abgeschieden. Aus der Anzahl der Partikel pro Sekunde $N = \frac{0{,}13\,\text{kg}}{6 \cdot 10^{-15}\,\text{kg}} \approx 2{,}2 \cdot 10^{13}$ und der dabei geflossenen Ladungsmenge $Q = I \cdot \Delta t = N \cdot q = 0{,}3\ \text{C}$ folgt die durchschnittliche Ladung eines Partikels $q = \frac{Q}{N} \approx 1{,}4 \cdot 10^{-14}\,\text{C}$.			6
	Berechnung der Gewichtskraft $F_G \approx 6 \cdot 10^{-14}\,\text{N}$ und der elektrischen Feldkraft: $F_{el} = \frac{q \cdot U}{d} = \frac{1{,}4 \cdot 10^{-14}\,\text{C} \cdot 5 \cdot 10^4\,\text{V}}{0{,}3\,\text{m}} \approx 2{,}3 \cdot 10^{-9}\,\text{N}$		6	
	Vergleich der beiden ermittelten Werte: Die Gewichtskraft ist sehr viel kleiner als die elektrische Feldkraft, ihr Einfluss kann vernachlässigt werden.		4	
4	*Kompetenzen: mathematisches Beschreiben physikalischer Phänomene (Fachmethoden), Entnehmen von Informationen aus komplexeren texten (Fachkenntnisse), Einordnen und Erklären von physikalischen Phänomenen aus Natur und Technik (Reflexion)* Beschreibung des dargestellten Zusammenhangs, z.B. • Erst mit abnehmender Geschwindigkeit kann ein hoher Abscheidegrad erreicht werden.		2	
	Erläuterung einer möglichen Ursache, z. B.: Bei zu großer Geschwindigkeit kann die elektrische Kraft nicht lange genug auf die Rußpartikel einwirken, so dass diese nicht stark genug abgelenkt werden und das Kondensatorfeld verlassen können.		6	
5	*Kompetenzen: Entnehmen von Informationen aus komplexeren Texten (Fachkenntnisse)* Abgeben einer Begründung, z. B. Da sich die elektrische Feldstärke $E = \frac{U}{d}$ eines Plattenkondensators mit zunehmendem Plattenabstand verringert, muss die Spannung entsprechend vergrößert werden, um eine gleiche Feldstärke zu erreichen und somit die Ablenkung der Staubteilchen zu gewährleisten. Bei größeren Gassenweiten müsste die Spannung stark erhöht werden und liegt dabei auch in anderen Bereichen außerhalb des Filters an. Dieses erfordert u. A. bessere Schutzmaßnahmen.		6	
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	16	28	6
	prozentuale Zusammensetzung	32	56	12
	Summe der BE		50	

Zentrale schriftliche Abiturprüfung 2017

Physik

Grundkurs

Aufgabenstellung B für Prüflinge

Inhalt:	**Elektromagnetische Induktion**
Titel:	**Überspannungen durch Induktion**
Aufgabenart:	Aufgabe mit Schülerexperiment und Materialien
Hilfsmittel:	Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung
Gesamtbearbeitungszeit:	210 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
Experimentiermaterial:	Pro Arbeitsplatz: Wechselspannungsnetzgerät, verstellbar zwei Spulen, Eisenkern (I-Kern, geblättert) ein Stromstärkemesser, ein Spannungsmesser Kabel
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

Überspannungen durch Induktion

Gewitter verursachen in Deutschland jährlich Schäden in Milliardenhöhe. Der Schadensaufwand der Hausratsversicherungen allein durch Blitze und Überspannungen lag in den vergangenen Jahren bei mehreren hundert Millionen Euro pro Jahr[1].

Das Problem der Überspannungen als Folge von Blitzeinschlag wird aufgrund vielfältiger Ursachen häufig unterschätzt und allein durch Blitzableiter nicht gelöst.

Die Überspannungen gelangen zum Beispiel durch elektromagnetische Induktion in das Stromnetz eines Hauses. Dieser Vorgang wird induktive Einkopplung genannt.

In den folgenden Aufgaben wird untersucht, wie Überspannungen durch Induktion entstehen und wie sie möglichst vermieden werden können.

Aufgaben: **BE**

		BE
1	Erklären Sie, wie durch induktive Einkopplung Überspannungen im Stromnetz eines Hauses entstehen können.	**5**
2	Das Magnetfeld des in Material 2 beschriebenen Blitzableiters soll für den Zeitpunkt der höchsten Stromstärke untersucht werden. Stellen Sie die magnetische Flussdichte B in Abhängigkeit vom Abstand r vom Blitzableiter im Intervall $0 < r \leq 20$ cm grafisch dar. Berechnen Sie den Abstand vom Blitzableiter, bei dem die magnetische Flussdichte 1 mT beträgt.	**14**
3	Berechnen Sie für die vereinfachte Anordnung im Material 3 die Spannung, die im Stromnetz des Hauses induziert wird, während der Strom im Blitzableiter auf seinen Maximalwert ansteigt.	**6**

4 Experiment **14**

In einem Modellexperiment soll der Einfluss der Maximalstromstärke des Stromstoßes im Blitzableiter auf die Induktionsspannung in einer Leiterschleife im Stromnetz eines Hauses untersucht werden. Dabei wird der Blitzableiter durch eine Spule ersetzt, die Leiterschleife im Stromnetz des Hauses durch eine weitere Spule.

Die Durchführung und die Auswertung des Experimentes beinhalten

- den Aufbau der Schaltung nach Schaltplan (Material 4),
- das Aufnehmen der Messwertepaare U_{ind} in Abhängigkeit von I_{max} (mindestens 4),
- das Auswerten der Messungen mit Hilfe einer geeigneten Methode,
- das Formulieren einer Schlussfolgerung zum Einfluss der Maximalstromstärke des Stromstoßes im Blitzableiter auf die Induktionsspannung.

Beachten Sie das Beiblatt zum Experiment.

Sollten Sie keine verwertbaren Messergebnisse erhalten, können Sie Hilfen oder Ersatzmesswerte anfordern. Den nicht erbrachten Leistungen entsprechend werden Bewertungseinheiten abgezogen.

5 Leiten Sie aus dem Verlauf des Graphen in Aufgabe 2 und aus der im Experiment gewonnen Erkenntnis je eine mögliche Schutzmaßnahme gegen Überspannungen durch induktive Einkopplung ab. **11**

Begründen Sie zwei der im Material 5 vorgeschlagenen Maßnahmen zur Verringerung der induktiven Einkopplung.

Material 1: Überspannung und induktive Einkopplung

Überspannung nennt man eine Spannung, die größer ist als die Spannung, für die eine elektrische Anlage oder ein Gerät ausgelegt ist. Sie kann zur Zerstörung des Gerätes, zu Bränden, zu Fehlfunktionen oder zu Datenverlusten führen.

Ein Blitzeinschlag ist eine Ursache für Überspannungen, die z. B. durch die sogenannte **induktive Einkopplung** ins Stromnetz eines Hauses gelangen können.

Der Blitzeinschlag führt in einem außen am Haus angebrachten Blitzableiter zu einem Stromstoß. Die Stromstärke steigt dabei sehr schnell auf extrem hohe Werte an und sinkt etwas langsamer wieder ab. Die Folge des Stromstoßes können Induktionsspannungen in benachbarten Stromleitungen des Hauses sein, die sich als Überspannungen auswirken.

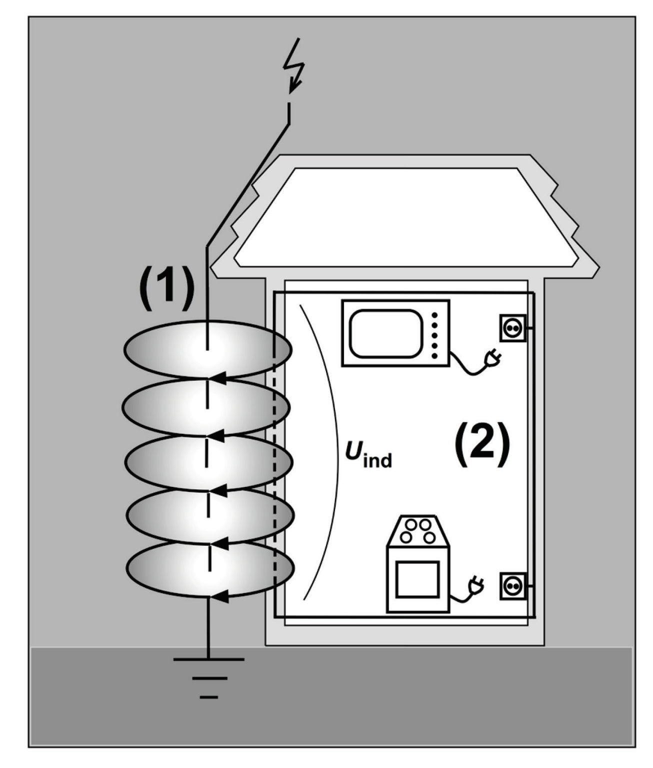


Abbildung 1: Prinzip der induktiven Einkopplung; (1): Stromstoß nach Blitzeinschlag in einem äußeren Leiter mit Magnetfeld des stromdurchflossenen Leiters; (2): Stromnetz des Hauses

Material 2: Magnetfeld in der Umgebung eines Blitzableiters

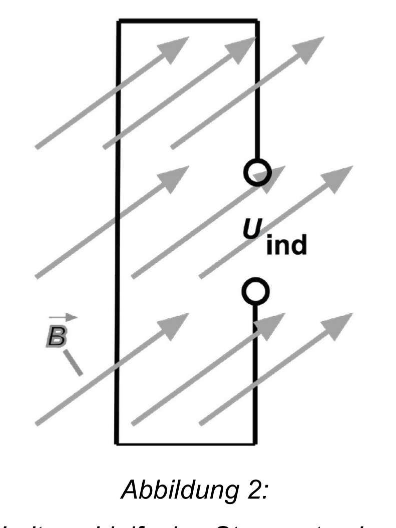
Das Magnetfeld des Blitzableiters, der nach einem Blitzeinschlag von einem Stromstoß durchflossen wird, soll untersucht werden. Die maximale Stärke des Stromes im Blitzableiter betrage $I = 100$ kA.

Zur näherungsweisen Berechnung der magnetischen Flussdichte B im Abstand r vom Leiter kann die folgende Gleichung verwendet werden.

$B = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r}$	B	magnetische Flussdichte
	μ_0	magnetische Feldkonstante
$\mu_0 \approx 1{,}2566 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{V \cdot s \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}}$	I	elektrische Stromstärke
	r	Abstand vom Leiter

Material 3: Abschätzung der induzierten Spannung

Um die induzierte Spannung nach einem Stromstoß abschätzen zu können, wird davon ausgegangen, dass eine rechteckige Leiterschleife im Stromnetz des Hauses vom als homogen angenommen Magnetfeld des Blitzableiters erfasst wird. Die Feldlinien des Magnetfeldes stehen senkrecht zur Fläche der Leiterschleife. Dabei erhöhen sich die Stromstärke und damit die magnetische Flussdichte beim Ansteigen des Stromes gleichmäßig. Beide Größen sinken nach Erreichen des Maximalwertes gleichmäßig auf Null. Es gelten die folgenden Daten.

Minimale Flussdichte des Magnetfeldes: $B_{min} = 0$ T Maximale Flussdichte des Magnetfeldes: $B_{max} = 200$ mT Zeit für das Ansteigen bis zum Maximalwert: $\Delta t_A = 4\ \mu s$ Zeit für das Abfallen bis 0: $\Delta t_B = 400\ \mu s$ Länge der Leiterschleife: $l = 2$ m Breite der Leiterschleife: $b = 10$ cm	 *Abbildung 2:* *Leiterschleife im Stromnetz des Hauses mit Magnetfeld des Blitzableiters*

Material 4: Modellexperiment zur induktiven Einkopplung

Im Modellexperiment wird der Blitzableiter durch Spule 1 ersetzt, die Leiterschleife im Stromnetz des Hauses durch Spule 2.

Die Spulen werden so nebeneinander gelegt, dass ein I-Kern jeweils zur Hälfte in beide Spulen hineinragt.

Spule 1 wird mit einem Wechselspannungsnetzgerät mit veränderlicher Wechselspannung verbunden. Der Stromstoß im Blitzableiter soll durch einen sinusförmigen Wechselstrom in Spule 1 modelliert werden.

Ermitteln der Maximalstromstärke I_{max}:

- Messen des Wechselstroms I mit dem Strommesser (Effektivwert)
- Errechnen des Maximalwerts $I_{max} = I \cdot \sqrt{2}$

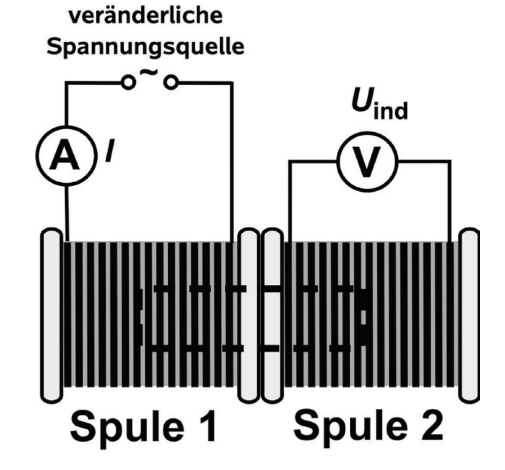


Abbildung 3:
Aufbau des Modellexperimentes

Es wird die in Spule 2 induzierte Wechselspannung U_{ind} für verschiedene Stromstärken gemessen.

Material 5: Maßnahmen zur Verringerung der induktiven Einkopplung

Die Deutsche Gesellschaft für EMV-Technologie schlägt z. B. folgende Maßnahmen[3] vor:

- Benachbarte Verlegung von Hin- und Rückleitern,
- kurze Leitungen,
- Abschirmung der Leitungen gegen Magnetfelder.

Quellen:

[1] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.: Online-Serviceteil zum Naturgefahrenreport 2014, Seite 25: http://www.gdv.de/wp-content/uploads/2014/10/Naturgefahrenreport-2014_Zahlen-Serviceteil_GDV.pdf (gesichtet am 23.11.2015)

[2] http://www.brieselang.net/ueberspannungsschutz-betrachtung.php (gesichtet am 23.11.2015)

[3] Deutsche Gesellschaft für EMV-Technologie e.V.: http://www.demvt.de/publish/viewfull.cfm?objectID=e6e21186_aa5f_4ab8_9a321bd7355a24b8 vom 23.11.2015.

Zentrale schriftliche Abiturprüfung **2017**

Physik

Grundkurs

Erwartungshorizont B **für Lehrkräfte**

Bitte kontrollieren Sie vor Beginn der Arbeit die Vollständigkeit der Aufgabensätze für die Prüflinge.

Titel: **Überspannungen durch Induktion**

Aufgabenart: Aufgabe mit Schülerexperiment und Materialien

Hilfsmittel: Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung

Die Beschreibungen der erwarteten Schülerleistungen enthalten keine vollständigen Lösungen, sondern nur kurze Angaben. Hier nicht genannte, aber gleichwertige Lösungswege sind gleichberechtigt.

<table>
<tr><th rowspan="2">Teilaufgaben</th><th rowspan="2">Beschreibung der erwarteten Leistung</th><th colspan="3">AB</th></tr>
<tr><th>I</th><th>II</th><th>III</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Kompetenzen: Entnehmen von Informationen aus komplexeren Texten (Fachkenntnisse), Einordnen und Erklären von physikalischen Phänomenen aus Natur und Technik (Reflexion)
Um den Blitzableiter bildet sich beim Stromstoß ein magnetisches Feld, welches sich beim Ansteigen und Absinken des Stromes ändert. Dieses veränderliche Magnetfeld erfasst auch Leitungen im Stromnetz des Hauses. Dies hat wiederum Induktionsspannungen zur Folge, die zu Überspannungen im Hausnetz führen können.</td><td></td><td>5</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td>Kompetenzen: Umformen von Gleichungen und Berechnen von Größen aus Formeln (Fachmethoden), Darstellen von Sachverhalten in verschiedenen Darstellungsformen (Kommunikation)

z. B.:
<table><tr><th>Abstand r in cm</th><th>Magnetische Flussdichte B in T</th></tr><tr><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>4</td><td>0,5</td></tr><tr><td>8</td><td>0,25</td></tr><tr><td>12</td><td>0,17</td></tr><tr><td>16</td><td>0,125</td></tr><tr><td>20</td><td>0,1</td></tr></table></td><td>5</td><td></td><td></td></tr>
</table>

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB I	AB II	AB III
	Rechnung: $B=\mu_0\cdot\frac{I}{2\pi\cdot r}$; $r=\mu_0\cdot\frac{I}{2\pi\cdot B}$ $r=1{,}2566\cdot10^{-6}\ \text{V}\cdot\text{s}\cdot\text{A}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\frac{100000\ \text{A}}{2\pi\cdot0{,}001\ \text{T}}=20\ \text{m}$	4 5		
3	*Kompetenzen: mathematisches Beschreiben physikalischer Phänomene (Fachmethoden)* Induktionsgesetz für eine gleichmäßige Änderung der magnetischen Flussdichte und $B\perp A$: $U_{\text{ind}}=-n\cdot\frac{\Delta(B\cdot A)}{\Delta t}$ Weil A = konstant ist, folgt: $U_{\text{ind}}=-n\cdot\frac{A\cdot\Delta B}{\Delta t}$. Damit ist wegen n = 1 und $A=l\cdot b$: $U_{\text{ind}}=-1\cdot\frac{2\ \text{m}\cdot0{,}1\ \text{m}\cdot(0{,}2\ \text{T}-0)}{4\cdot10^{-6}\ \text{s}}=-1{,}0\cdot10^{4}\ \text{V}$ *Es genügt die Berechnung des Betrags der Spannung.*		6	
4	*Kompetenzen: Aufbauen eines einfachen Experiments nach vorgelegtem Plan (Fachmethoden), Selbstständige Durchführung eines Experiments (Fachmethoden), Gewinnen von mathematischen Abhängigkeiten aus Messdaten (Fachmethoden)* ▪ Aufbau der Schaltung nach Schaltplan (Material 4) ▪ Aufnehmen der Messwertepaare (mindestens 4) ▪ Auswertung, z. B.: Zeichnen eines Diagramms für die Induktionsspannung U_{ind} in Abhängigkeit von der Maximalstromstärke I_{max}, Ursprungsgerade ersichtlich	5	4 4	

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB I	AB II	AB III
	▪ Formulieren einer Schlussfolgerung zum Einfluss der Maximalstromstärke des Stromstoßes im äußeren Leiter auf die Induktionsspannung: U_{ind} direkt proportional zu I_{max}		**1**	
5	*Kompetenzen: fachgerechtes Wiedergeben von komplexeren Zusammenhängen (Fachkenntnisse), präzises Kommunizieren naturwissenschaftlicher Argumentationsketten (Kommunikation), problembezogenes Einordnen und Nutzen von Wissen in verschiedenen inner– und außerphysikalischen Wissensbereichen (Fachkenntnisse), Erklären physikalischer Phänomene komplexer Art aus Natur und Technik (Reflexion)*			
	Ableitung einer Maßnahme aus dem Diagramm (Aufgabe 2), z. B.: Je größer der Abstand zwischen den Leitungen des Hausnetzes und äußeren Leitern (z. B. dem Blitzableiter) ist, desto geringer ist auch die Flussdichte des Magnetfeldes, welches die Leitungen im Hausnetz erfasst. Dies führt zu geringeren Induktionsspannungen. Die Leitungen des Hausnetzes sollten also nicht in unmittelbarer Nähe von äußeren Leitern verlegt werden.		**3**	
	Ableiten einer möglichen Schutzmaßnahme aus den experimentellen Erkenntnisse, z. B.: Geringere Maximalstromstärken führen zu geringeren Induktionsspannungen, was wiederum die Gefahr von Überspannungen vermindert. Es müsste demnach durch eine geeignete Maßnahme die Maximalstromstärke im äußeren Leiter begrenzt werden (konkrete Maßnahmen müssen hier nicht genannt werden, z. B. gleichzeitiges Ableiten über mehrere Blitzableiter).		**2**	
	Zwei der im Material 5 vorgeschlagenen Maßnahmen zur Verringerung der induktiven Einkopplung begründen, z. B.: ▪ Benachbarte Verlegung von Hin- und Rückleitern: Durch diese Maßnahme wird die Fläche der Leiterschleife verringert. Gemäß Induktionsgesetz verringert sich die Induktionsspannung bei geringerer Spulenfläche, was zur Verminderung der Überspannungen führt. ▪ Kurze Leitungen: Kurze Leitungen verringern wiederum die Spulenfläche. Siehe oben. ▪ Abschirmung der Leitungen gegen Magnetfelder: Die Abschirmung der Leitungen führt zur Verringerung der auftretenden Flussdichten. Dies hat wiederum eine Verminderung der Induktionsspannungen bzw. Überspannungen zur Folge.			**6**
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	**19**	**25**	**6**
	prozentuale Zusammensetzung	**38**	**50**	**12**
	Summe der BE		**50**	

Erwartungshorizont Ersatzaufgabe

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB		
		I	II	III
4	*Kompetenzen: Auswerten von Ergebnissen nach einfachen Verfahren (Fachmethoden), fachgerechtes Wiedergeben von komplexeren Zusammenhängen (Fachkenntnisse)* ▪ Zeichnen eines Diagramms für die Induktionsspannung U_{ind} in Abhängigkeit von der Maximalstromstärke I_{max}, Ursprungsgerade ersichtlich ▪ Formulieren einer Schlussfolgerung zum Einfluss der Maximalstromstärke des Stromstoßes im äußeren Leiter auf die Induktionsspannung: U_{ind} direkt proportional zu I_{max} ▪ Notwendige Änderungen: Einbau eines Schalters im Kreis der das Feld erzeugenden Spule, Gleichspannungsmessgeräte, Spannungsmesser mit Nullpunktmittellage ▪ Beim Ein- und Ausschalten tritt jeweils ein Spannungsstoß mit entgegengesetzter Polarität auf. Die Spannung sinkt danach jeweils wieder auf null. Fließt durch Spule 1 ein Strom, entsteht um sie ein Magnetfeld, welches auch Spule 2 erfasst. Beim Einschalten steigt die Stromstärke in Spule 1 auf ihren Maximalwert. Das heißt, dass auch die magnetische Flussdichte des Magnetfeldes ansteigt. Dieser Anstieg bewirkt eine Induktionsspannung mit negativer Polarität. Wenn Stromstärke bzw. Flussdichte ihren Maximalwert erreichen, sich also nicht mehr ändern, findet keine Induktion mehr statt. Beim Ausschalten finden analoge Vorgänge statt. Da die Flussdichte sinkt, kommt es zu einer Induktionsspannung mit positiver Polarität.	5	3 6	
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	**5**	**9**	**0**
	Summe der BE		**14**	

Hinweise für die Hand der Lehrkraft zum Schülerexperiment

Geräte

Die bereitzustellenden Geräte aus der Liste mit dem Experimentiermaterial können hinsichtlich ihrer Daten durch gleichwertige Geräte ersetzt werden. Das Experiment ist vor dem Tag der schriftlichen Prüfung von der prüfenden Lehrkraft durchzuführen. Alle Geräte müssen von der prüfenden Lehrkraft vor der Prüfung auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft werden.

Sicherheitshinweis

Für die Durchführung der Schülerexperimente sind die Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) zu beachten.

Hinweise zur Vorbereitung und Durchführung des Experimentes

Auf dem Beiblatt zum Experiment sind die Windungszahlen der Spulen und die maximale Stärke des Primärstromes in Spule 1 zu vermerken.

Die Stromstärke in Spule 1 kann alternativ mit einem verstellbaren Widerstand variiert werden. Wird ein verstellbarer Widerstand verwendet, so ist dieser bei der Bereitstellung der Geräte bereits an die Spannungsquelle anzuschließen.

Die Messgeräte müssen über geeignete Messbereiche zur Messung der Sekundärspannung verfügen.

Hinweise für den Fall des Misslingens

Die Ursache obliegt höherer Gewalt oder liegt im Verantwortungsbereich der Schule:

Das Ersatzblatt ist im Lehrerheft enthalten und muss in diesem Fall des Misslingens am Tag der Prüfung für die Prüflinge kopiert werden.

Dem Prüfling wird das Ersatzblatt mit den Beobachtungen / Messwerten und der theoretischen Ersatzaufgabe ausgehändigt und mit dem Namen des Prüflings versehen. **Dies ist im Prüfungsprotokoll zu vermerken.**

Die Ursache liegt in der Verantwortung des Prüflings:

Die Prüflinge können für nichterbrachte experimentelle Teilleistungen bei der prüfenden Lehrkraft Zusatzinformationen anfordern. Bei der Anforderung einer oder mehrerer Informationen werden Bewertungseinheiten nicht erteilt. **Der Umfang der Einhilfen ist in geeigneter Art und Weise in den Prüfungsunterlagen zu dokumentieren.**

Hilfe beim Aufbau

Es erfolgt ein Punktabzug von bis zu **5** BE, wenn Hilfen beim Aufbau in Anspruch genommen werden.

Zusatzinformation: Ersatzmesswerte für das Schülerexperiment

Bei der Ausgabe der Zusatzinformation ist zu prüfen, ob der Aufbau und die Durchführung entwickelt wurden.

Es erfolgt ein Punktabzug von **4** BE, wenn die Werte benötigt werden, jedoch der Aufbau des Experimentes richtig ist. Es sind maximal weitere **5** BE (insgesamt bis zu 9 BE) abzuziehen, wenn das Experiment nicht korrekt aufgebaut werden konnte (siehe Hilfe beim Aufbau).

In Vorbereitung auf die Prüfung sind vor der Prüfung in ausreichender Anzahl Kopien der Zusatzinformationen anzufertigen. Diese Informationen werden nur auf Anforderung ausgegeben.

Zentrale schriftliche Abiturprüfung **2017**

Physik

Grundkurs

Aufgabenstellung B **für Prüflinge**

Beiblatt zum Experiment

Beachten Sie bei allen Teilversuchen die nachfolgenden Angaben.

Windungszahl der Spule 1: ____________________

Windungszahl der Spule 2: ____________________

Maximale Stärke des Stromes (Spule 1): ____________________

Zentrale schriftliche Abiturprüfung **2017**

Physik

Grundkurs

Aufgabenstellung B **für Prüflinge**

Nur auf Anforderung

Zusatzinformation: **Ersatzmesswerte für das Schülerexperiment**

Sollte die Messung nicht gelingen, sollen folgende Werte verwendet werden:

Stromstärke I (Effektivwert) in mA (Spule 1)	100	200	300	400
Induktionsspannung U_{ind} in V	0,35	0,6	0,9	1,2

Es erfolgt ein Punktabzug von **4** BE, wenn diese Werte benötigt werden.

Zusätzlich werden bis zu **5** BE (insgesamt maximal **9** BE) nicht erteilt, wenn das Experiment nicht korrekt aufgebaut werden konnte.

Nur im Fall des Misslingens des Experimentes aufgrund höherer Gewalt oder aus Verantwortung der Schule

Ersatzblatt

An Ihrer Schule kann das Schülerexperiment nicht durchgeführt werden.

Bearbeiten Sie statt der Aufgabe 4 die folgende Aufgabe:

Ersatzaufgabe für Aufgabe 4 (Schülerexperiment)

In einem Modellexperiment wurde der Einfluss der Maximalstromstärke des Stromstoßes im Blitzableiter auf die Induktionsspannung in einer Leiterschleife im Stromnetz eines Hauses untersucht. Dabei wurde der Blitzableiter durch eine Spule ersetzt, die Leiterschleife im Stromnetz des Hauses durch eine weitere Spule (vgl. Material 4).

Messwerttabelle:

Stromstärke I (Effektivwert) in mA (Spule 1)	100	200	300	400
Induktionsspannung U_{ind} in V	0,35	0,6	0,9	1,2

Zeichnen Sie ein Diagramm für die Induktionsspannung U_{ind} in Abhängigkeit von der Maximalstromstärke I_{max}.

Formulieren Sie mit Hilfe des Diagramms eine Schlussfolgerung zum Einfluss der Maximalstromstärke des Stromstoßes im äußeren Leiter auf die Induktionsspannung.

In einer anderen Variante des Modellexperiments wird die Wechselspannungsquelle durch eine Gleichspannungsquelle mit veränderlicher Spannung ersetzt. Diese wird ein- und danach wieder ausgeschaltet. Die Induktionsspannung wird im Moment des Einschaltens gemessen.

Nennen Sie die weiteren Änderungen des Aufbaus, die in dieser Variante notwendig sind.

Beschreiben und erklären Sie die zu erwartenden Beobachtungen am Spannungsmessgerät beim Ein- und Ausschalten.

Zentrale schriftliche Abiturprüfung **2017**

Physik

Grundkurs

Aufgabenstellung C **für Prüflinge**

Inhalt:	**Photoeffekt**
Titel:	**Neutrinoteleskop**
Aufgabenart:	Aufgabe mit Materialien
Hilfsmittel:	Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung
Gesamtbearbeitungszeit:	210 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

Neutrinoteleskop

Aus den Tiefen des Weltraums erreichen die Erde ständig geheimnisvolle kleine Teilchen, die Neutrinos. Diese werden von vielen internationalen Forschungsteams untersucht. Für die aktuelle Neutrinoforschung wird es immer wichtiger nicht nur Neutrinos zu registrieren, sondern auch festzustellen, aus welcher Richtung sie kommen.
Dazu wird das Neutrinoteleskop ANTARES verwendet. Es befindet sich in 2400 Meter Tiefe am Meeresboden vor der französischen Mittelmeerküste nahe Marseille. An 12 Seilen sind ca. 900 Detektoren für Photonen angebracht.

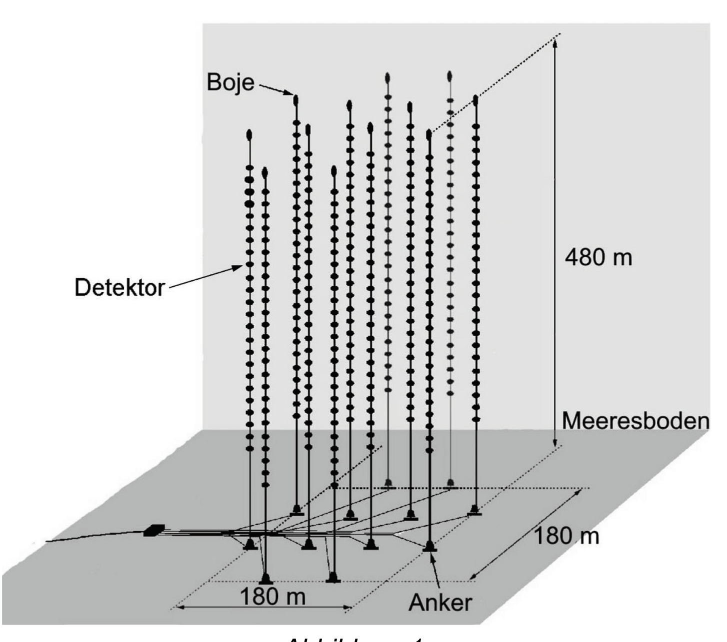


Abbildung 1:
Vereinfachte Darstellung des Neutrinoteleskops Antares

Wenn sich Neutrinos durch das Wasser bewegen, entsteht durch die Wechselwirkung der Neutrinos mit dem Wasser entlang der Flugbahn ein bläuliches Licht. Dieses Licht besteht aus Photonen, die durch die Detektoren registriert werden können. Wie es gelingt, die durch die Neutrinos erzeugten Photonen zu registrieren, wird in den folgenden Aufgaben untersucht.

	Aufgaben:	**BE**
1	Erläutern Sie, wie der Photoeffekt ausgenutzt wird, um mit einem Photonendetektor in einem Neutrinoteleskop Photonen nachzuweisen. Zeigen Sie rechnerisch, dass das Neutrinoteleskop Photonen mit einer Energie von 2,25 eV bis 3,18 eV registrieren soll.	**9**
2	Prüfen Sie, ob die im Material 2 beschriebene Glassorte für den Photonendetektor geeignet ist, um von den Neutrinos ausgelöste Photonen zu registrieren. Entscheiden Sie für die angegebenen Kathodenmaterialien begründet, welche für den Photonendetektor verwendet werden können.	**9**
3	Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit der herausgelösten Photoelektronen, wenn blaues Licht auf den Detektor trifft. [Kontrollergebnis: 250 km/s] Erläutern Sie, wie man die Austrittsarbeit W_A eines Stoffes experimentell bestimmen kann.	**12**
4	Begründen Sie, dass sich die im Photonendetektor herausgelösten Photoelektronen gleichmäßig beschleunigt von der Kathode zur Anode bewegen. Vergleichen Sie unter der Annahme, dass die Photoelektronen nach dem Verlassen der Kathode die Anfangsgeschwindigkeit null haben, die Geschwindigkeit der Photoelektronen beim Aufprall auf der Anode mit der in Aufgabe 3 berechneten Austrittsgeschwindigkeit der Photoelektronen. [Kontrollergebnis: 32500 km/s]	**10**
5	Berechnen Sie die Flugzeit der Photoelektronen. Begründen Sie, warum für die Richtungsbestimmung der Neutrinos die Flugzeit der Photoelektronen in allen Detektoren des Neutrinoteleskops gleich sein sollte.	**10**

Material 1: Aufbau und Funktion eines Photonendetektors

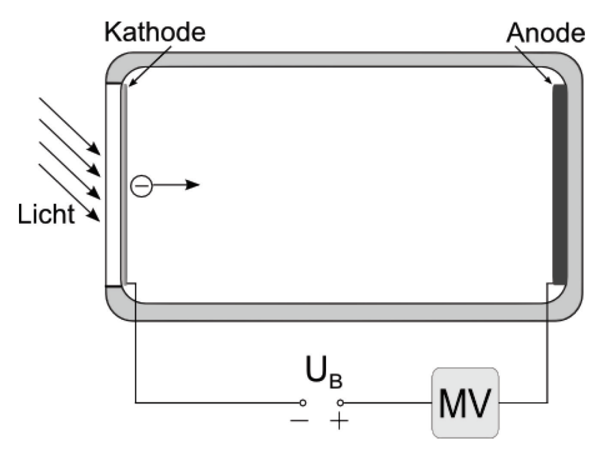


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau des Photonendetektors

Hier wird ein ähnlicher Photonendetektor wie beim ANTARES-Neutrinoteleskop betrachtet. Der in Abbildung 2 dargestellte Photonendetektor soll Licht im Wellenlängenbereich von 390 nm bis 550 nm registrieren können. Er besteht aus einer evakuierten Glasröhre mit einer innen aufgedampften Kathode.

Durch das Anlegen einer hohen Spannung von $U_B = 3000\ \text{V}$ zwischen Anode und Kathode werden die nach innen ausgelösten Photoelektronen zur Anode beschleunigt. Die herausgelösten Photoelektronen treffen mit hoher Energie auf die Anode.

Diese besteht aus einem speziellen Material, so dass bei diesem Prozess viele frei bewegliche Elektronen in der Anode entstehen, die über einen Messverstärker (MV) als Stromimpuls registriert werden können.

Material 2: Glas- und Kathodenmaterial

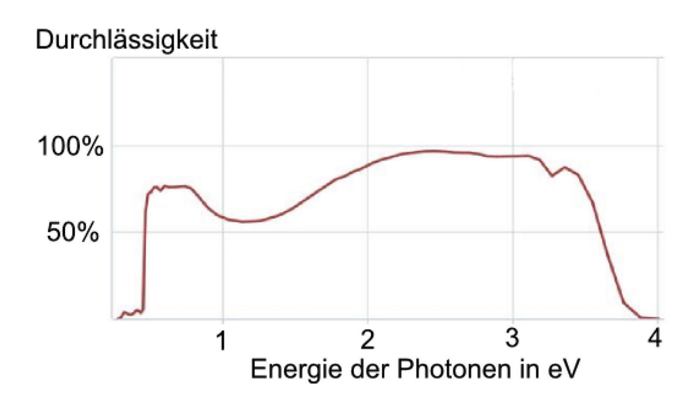


Abbildung 3: Durchlässigkeit des Glases in Abhängigkeit von der Energie der Photonen

Die Photonen müssen zuerst das Glas der Röhre durchdringen, um in der Kathode Elektronen herauszulösen.

Die Abbildung 3 zeigt, bei welcher Energie der Photonen die verwendete Glassorte des Photonendetektors besonders durchlässig ist.

Dabei bedeutet eine Durchlässigkeit von 100 %, dass alle Photonen das Glas ungehindert passieren.

Stoff	Cäsium	Barium	Zink	Platin
W_A in eV	1,94	2,52	4,27	5,36

Tabelle 1

Um ein geeignetes Kathodenmaterial zu finden, ist die Kenntnis über die Austrittsarbeit W_A eines Stoffes wichtig. In Tabelle 1 sind die für den Photonendetektor in Frage kommenden Stoffe aufgelistet.

Material 3: Blaues Licht trifft auf den Detektor

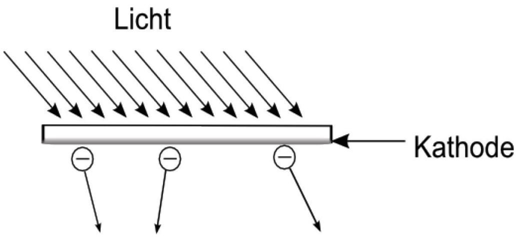


Abbildung 4: Vorgänge an der Kathode des Detektors

Blaues Licht der Wellenlänge $\lambda = 460\ \text{nm}$ trifft auf den Detektor mit einer Kathode aus Barium.

Material 4: Beschleunigung der Photoelektronen

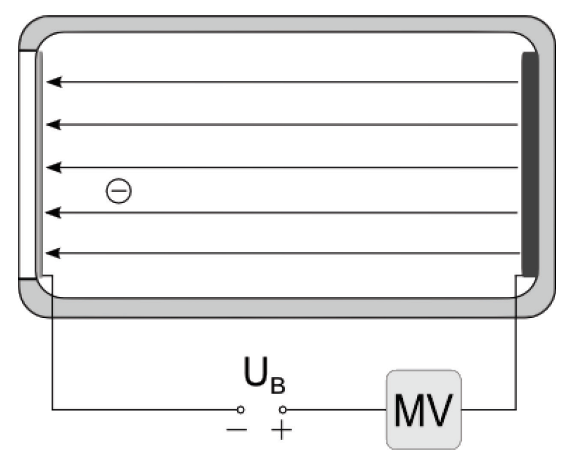


Abbildung 5:
Beschleunigung der Photoelektronen

Da im ANTARES-Neutrinoteleskop alle Photonendetektoren zeitlich zusammenarbeiten müssen, ist die Flugzeit der Photoelektronen im Detektor von großer Wichtigkeit. Die Beschleunigung der Photoelektronen zwischen Anode und Kathode erfolgt vereinfacht wie in einem homogenen Feld eines Plattenkondensators. Die Beschleunigungsspannung U_B beträgt 3000 Volt und der Plattenabstand 0,11 m.

Material 5: Bestimmung der Richtung der Bewegung der Neutrinos

Neutrinos bewegen sich nahezu mit Lichtgeschwindigkeit. Wenn ein Neutrino in das in Abbildung 1 dargestellte Teleskop eintritt, treffen die vom Neutrino in diesem Moment erzeugten Photonen auf den nächstgelegenen Detektor zuerst und lösen dort einen Messvorgang aus. Anschließend treffen andere, ebenfalls in diesem Moment erzeugte Photonen auf weiter entfernte Detektoren. Aus dem Vergleich der Zeiten zwischen den Messvorgängen an den verschiedenen Detektoren kann auf den von den Photonen in diesen Zeiten zurückgelegten Weg geschlossen werden. Dadurch kann der Ort des Eintretens in das Teleskop und sogar die Richtung der Bewegung der Neutrinos bestimmt werden.

Material 6: Wichtige Gleichungen

Einstein´sche Gleichung	$E_{kin} = h \cdot f - W_A$	E_{kin}	maximale kinetische Energie der Elektronen
		h	Planck´sches Wirkungsquantum
		W_A	Austrittsarbeit
		f	Frequenz
gleichmäßig beschleunigte Bewegung	$s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$	s	Weg
		t	Zeit
		v	Geschwindigkeit

Quellen:

[1] Tilman K. Rügheimer. Konzept und Eigenschaften eines hybriden Photonendetektors auf Basis des Timepix-Detektors. Erlangen-Nürnberg 2009. http://www.ecap.nat.uni-erlangen.de/publications/pub/2009_Rugheimer_Dissertation.pdf (18.12.2016)

[2] Optical transmission calculator. http://refractiveindex.info/?shelf=glass&book=soda-lime&page=Rubin-clear (22.05.2016)

[3] The ANTARES Cherenkov Neutrino Telescope. http://www.ecap.nat.uni-erlangen.de/antares/ (18.12.2016)

[4] First results from the ANTARES neutrino telescope. ANTARES Collaboration (Th. Eberl, Erlangen - Nuremberg U., ECAP for the collaboration). May 2012 https://inspirehep.net/record/1114108?ln=de (22.05.2016)

Zentrale schriftliche Abiturprüfung 2017

Physik

Grundkurs

Erwartungshorizont C für Lehrkräfte

Bitte kontrollieren Sie vor Beginn der Arbeit die Vollständigkeit der Aufgabensätze für die Prüflinge.

Titel: **Neutrinoteleskop**

Aufgabenart: Aufgabe mit Materialien

Hilfsmittel: Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung

Die Beschreibungen der erwarteten Schülerleistungen enthalten keine vollständigen Lösungen, sondern nur kurze Angaben. Hier nicht genannte, aber gleichwertige Lösungswege sind gleichberechtigt.

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB		
		I	II	III
1	*Kompetenzen: Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen (Kommunikation), Wiedergeben von einfachen Gesetzen und Formeln sowie deren Erläuterung (Fachkenntnisse)* Photonen gelangen auf die aufgedampfte Kathode des Detektors und lösen dort Elektronen aus der Oberfläche heraus. Diese Elektronen können an der Anode nachgewiesen werden und zeigen damit an, dass ein Photon registriert worden ist.	**4**		
	Der Nachweis erfolgt durch die Beziehung $E_{Ph} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$. Das Einsetzen der im Material 1 genannten Wellenlängen von 390 nm und 550 nm ergeben $5{,}10 \cdot 10^{-19}$ J bzw. $3{,}61 \cdot 10^{-19}$ J als Zwischenergebnis. Die Umrechnung in Elektronenvolt ergibt dann 2,25 eV bis 3,18 eV.	**5**		

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB I	AB II	AB III
2	*Kompetenzen: Darstellen von Sachverhalten in verschiedenen Darstellungsformen (Kommunikation), Übertragen von Betrachtungsweisen und Gesetzen (Fachmethoden)* Die Glassorte ist geeignet. Aus dem Diagramm in Abbildung 2 kann man die Durchlässigkeit des Glases bei den Photonenenergien 2,25 eV bis 3,18 eV von über 90% erkennen. Damit gelangen fast alle Photonen durch das Glas auf die Kathode und können registriert werden.	3		
	Zink und Platin kommen als Kathodenmaterial nicht in Frage, da die Austrittsarbeit des Stoffes größer ist als die vorkommenden Photonenenergien. Cäsium kann uneingeschränkt verwendet werden, da die Austrittsarbeit kleiner als die kleinste Photonenergie ist. Barium kann eingeschränkt verwendet werden, da die Austrittsarbeit etwas größer als die kleinste Photonenergie ist.	6		
3	*Kompetenzen: Berechnen von Größen aus Formeln (Fachmethoden), Präzises Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen (Kommunikation)* Licht der Wellenlänge 460 nm hat eine Energie von 2,70 eV. Nach Abzug der Austrittsarbeit von Barium ergibt sich eine maximale Energie für die herausgelösten Photoelektronen von 0,18 eV bzw. $2{,}88 \cdot 10^{-20}$ J. Mit $E_{kin} = \frac{1}{2} m_e v^2$ ist $v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{kin}}{m_e}}$. Das Einsetzen der Werte ergibt eine Geschwindigkeit von $v \approx 250$ km/s.		6	
	Die Austrittsarbeit W_A eines Stoffes kann man bestimmen, indem man Licht mit bekannter Wellenlänge auf den Stoff strahlt, so dass Elektronen herausgelöst werden. Die kinetische Energie der herausgelösten Elektronen muss gemessen werden. Aus der Differenz der Photonenenergie und der maximalen kinetischen Energie der Elektronen ergibt sich die Austrittsarbeit des Stoffes.		6	
4	*Kompetenzen: Berechnen von Größen aus Formeln (Fachmethoden), präzises Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen (Kommunikation)* Zwischen Anode und Kathode besteht ein elektrisches Feld, welches als homogen angesehen werden kann. Auf die Elektronen wirkt dann überall eine konstante Kraft, die eine gleichmäßige Beschleunigung bewirkt.		3	

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB I	AB II	AB III
	Die Aufprallgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Energieansatz $e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2$, der nach der Geschwindigkeit aufgelöst wird. $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_e}}$ Das Einsetzen der Werte ergibt $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 3000\,\text{V}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\text{kg}}} = 32500\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Damit ist die Aufprallgeschwindigkeit sehr viel größer als die Austrittsgeschwindigkeit.		7	
5	*Kompetenzen: Strukturieren und schriftliches Präsentieren komplexerer Sachverhalte (Kommunikation), Einordnen und Erklären von physikalischen Phänomenen aus Natur und Technik (Reflexion)* Die Flugzeit ergibt sich aus dem Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung $s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$. $t = \frac{2 \cdot s}{v} = \frac{2 \cdot 0{,}11\,\text{m}}{3{,}25 \cdot 10^7\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1}} = 6{,}8\,\text{ns}$		5	
	Die Photonen werden erst registriert, wenn die Photoelektronen die Anode erreichen. Wenn die Flugzeit in den Detektoren unterschiedlich wäre, würden zusätzliche zeitliche Unterschiede zwischen den Messvorgängen auftreten. Dies führt zu fehlerhaften Ortsbestimmungen und man würde auf eine falsche Richtung der Neutrinos schließen.			5
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	**18**	**27**	**5**
	prozentuale Zusammensetzung	**36**	**54**	**10**
	Summe der BE		**50**	

Zentrale schriftliche Abiturprüfung **2017**

Physik

Grundkurs

Aufgabenstellung D **für Prüflinge**

Inhalt:	**Kernphysik**
Titel:	**Brandmelder**
Aufgabenart:	Aufgabe mit Materialien
Hilfsmittel:	Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung
Gesamtbearbeitungszeit:	210 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

Brandmelder

Ein Brandmelder hat die Aufgabe, im Falle eines Brandes möglichst zuverlässig automatisch einen Alarm auszulösen. Lange Zeit waren die gebräuchlichsten Anlagen sogenannte „Ionisationsbrandmelder“, die mit radioaktiven Substanzen arbeiteten. Diese Geräte können auch kleinste, kaum sichtbare Rauchpartikel registrieren.

Wie ein solches Gerät funktioniert und inwiefern die Verwendung radioaktiver Stoffe hierbei problematisch ist, wird in den folgenden Aufgaben näher untersucht.



Abbildung 1: Inneres eines Ionisationsbrandmelders [1]

Aufgaben: **BE**

		BE
1	Fertigen Sie eine Skizze des prinzipiellen Aufbaus eines Ionisationsbrandmelders an. Beschreiben Sie, welche Funktion der radioaktive Stoff in dem Brandmelder erfüllt.	**6**
2	Vergleichen Sie die Reichweite in Luft und die Abschirmbarkeit der drei verschiedenen Arten radioaktiver Strahlung. Begründen Sie, warum Americium-241 für die Verwendung in Brandmeldern besonders geeignet ist.	**11**
3	Bestimmen Sie die benötigte Masse an Americium-241, um eine Aktivität von 37 kBq zu erreichen. Prüfen Sie rechnerisch nach, ob die Aktivität des Americiums im betrachteten Brandmelder innerhalb von 20 Jahren so weit abnimmt, dass der Melder ausgetauscht werden muss.	**11**
4	Geben Sie die Zerfallsgleichung der bei Americium-241 auftretenden Umwandlung an. Berechnen Sie die bei der Umwandlung eines Americium-241-Kernes freiwerdende Energie in der Einheit eV. [Kontrollergebnis: ΔE = 5,7 MeV] Zeigen Sie, dass in dem betrachteten Brandmelder genügend Luftionen gebildet werden können, um eine gut messbare Stromstärke zu erhalten.	**17**
5	Begründen Sie aus physikalischer Sicht, warum der Einsatz von Ionisationsbrandmeldern in Deutschland nur unter strengen Auflagen zulässig ist.	**5**

Material 1: Prinzip eines Ionisationsbrandmelders

Um einen Brand automatisch zu erkennen, muss in dem zu überwachenden Raum ein Brandmelder installiert sein. Bei Ionisationsbrandmeldern wird die Luft durch einen radioaktiven Stoff ständig ionisiert. Dies findet in einem kleinen Bereich (der Messkammer) zwischen zwei unterschiedlich geladenen Metallplatten statt. Der dadurch in der Messkammer ermöglichte elektrische Strom wird gemessen. Als Spannungsquelle kann eine gewöhnliche Batterie verwendet werden.

Im Falle eines Brandes gelangen Rauchpartikel in die Messkammer, an die sich die Ionen anlagern, wodurch die Leitfähigkeit der Luft messbar abnimmt.

Mit einer geeigneten Schaltung lässt sich die Abnahme der elektrischen Stromstärke registrieren und bei einer auffälligen Änderung ein Alarm auslösen.

Material 2: Ionisationsbrandmelder mit Americium-241

Das für Ionisationsbrandmelder am häufigsten verwendete Radionuklid ist das künstlich hergestellte Americium-Isotop $^{241}_{95}\text{Am}$.

Americium-241 ist ein α-Strahler, der sich mit einer Halbwertszeit von T_H = 432 a in ein sehr langlebiges Neptunium-Isotop umwandelt. Der Anteil an freigesetzter γ-Strahlung bei der Umwandlung ist so gering, dass Americium-241 praktisch als reiner α-Strahler angesehen werden kann.

beteilgtes Nuklid	Atommasse	Kernmasse
Americium-241	241,05683 u	241,00471 u
Neptunium-237	237,04817 u	236,99716 u
Helium-4	4,00260 u	4,00151 u
1 u = $1{,}66054 \cdot 10^{-27}$ kg		

Damit ausreichend viele Ionen und auswertbare Stromstärken erzielt werden, muss der Luft in den Kammern eine Strahlungsleistung von mindestens $3{,}0 \cdot 10^{-8}$ W zugeführt werden.

Da eine Masse von 1 g Americium-241 bereits eine Aktivität von $1{,}27 \cdot 10^{11}$ Bq verursacht, werden in Ionisationsbrandmeldern nur sehr geringe Mengen von Americium-241 benötigt.

Im hier betrachteten Ionisationsbrandmelder liegt die benötigte Aktivität bei 37 kBq. Eine Abnahme der Aktivität um mehr als 5% erfordert den Austausch des Brandmelders.

Material 3: Einsatz von Ionisationsbrandmeldern in Deutschland

Während in den USA Ionisationsbrandmelder weit verbreitet sind, wird ihr Einsatz in Deutschland durch zahlreiche Vorschriften und Auflagen erschwert. In einigen Landkreisen ist er sogar gänzlich verboten.

Im Normalbetrieb stellen die Ionisationsbrandmelder keine Gefährdung dar. Eine regelmäßige Überprüfung der Geräte ist in Deutschland vorgeschrieben.

Im Brandfall ist es allerdings nötig, die Melder zu finden und fachgerecht zu entsorgen. Das Auffinden der Ionisationsbrandmelder z. B. im Brandschutt eines abgebrannten Hauses ist jedoch unter Umständen sehr schwierig und auch mit einem Geiger-Müller-Zählrohr nicht einfach möglich. Gelingt das Auffinden nicht, muss der gesamte Brandschutt als Sondermüll entsorgt werden, was erhebliche Kosten verursacht.

Die Installation neuer Anlagen und der Abbau von nicht mehr funktionsfähigen Ionisationsbrandmeldern muss in Deutschland von ausgebildeten Fachleuten vorgenommen werden.

Material 4: Physikalische Größe Aktivität

Aktivität	$A(t) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_H} \cdot t}$	$A(t)$	Aktivität eines radioaktiven Strahlers, beschreibt die Anzahl der Kernzerfälle pro Sekunde in dem Strahler
		T_H	Halbwertszeit des radioaktiven Strahlers
		A_0	Aktivität des Strahlers zum Zeitpunkt $t = 0$

Die Einheit der Aktivität ist ein Bequerel: 1 Bq = 1 $\frac{1}{s}$.

Quellen:

[1] Foto von MD111 - http://www.flickr.com/photos/md111/3266158320/, CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8330955, bearbeitet vom Aufgabenentwickler am 05.05.2016

[2] Smoke Detectors and Americium.

http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/smoke-detectors-and-americium.aspx, gesichtet am 05.05.2016

[3] Informationsseite des Bundesamtes für Strahlenschutz:

http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-alltag/rauchmelder/rauchmelder_node.html, gesichtet am 05.05.2016

[4] Ionisationsrauchmelder. https://de.wikipedia.org/wiki/Ionisationsrauchmelder, gesichtet am 05.05.2016

Zentrale schriftliche Abiturprüfung 2017

Physik

Grundkurs

Erwartungshorizont D für Lehrkräfte

Bitte kontrollieren Sie vor Beginn der Arbeit die Vollständigkeit der Aufgabensätze für die Prüflinge.

Titel: **Brandmelder**

Aufgabenart: Aufgabe mit Materialien

Hilfsmittel: Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung

Die Beschreibungen der erwarteten Schülerleistungen enthalten keine vollständigen Lösungen, sondern nur kurze Angaben. Hier nicht genannte, aber gleichwertige Lösungswege sind gleichberechtigt.

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB		
		I	II	III
1	*Kompetenzen: Darstellen von Sachverhalten als Skizze (Kommunikation), Entnehmen von Informationen aus einfachen Texten (Fachkenntnisse)* Skizze:	**4**		
	Aufgabe des radioaktiven Präparates ist es, die Luft zu ionisieren und damit den Messstrom zu ermöglichen.	**2**		

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB I	AB II	AB III
2	*Kompetenzen: Wiedergeben von einfachen Daten und Fakten, Auswählen und Verknüpfen von Daten und Fakten eines abgegrenzten Gebiets, (Fachkenntnisse)* Vergleichende Beschreibung der Reichweiten in Luft (α-Strahlung nur wenige cm, β-Strahlung wenige dm, γ-Strahlung im Prinzip unendlich weit) Vergleichende Beschreibung der Abschirmbarkeit (z.B. Abschirmung von α-Strahlung bereits durch Papier, β-Strahlung durch dünnes Aluminium, γ-Strahlung durchdringt sogar Bleiplatten und wird nur abgeschwächt) Am-241 ist als reiner α-Strahler besonders günstig, da die Ionisierung aufgrund der Eigenschaften der Strahlung nur im Inneren des Brandmelders erfolgt. Eine Strahlenbelastung durch austretende Strahlung ist bei α-Strahlung ausgeschlossen, hier ist nur der vernachlässigbare Anteil an γ-Strahlung wirksam. Die recht hohe Halbwertszeit von Am-241 lässt zudem eine lange Betriebsdauer des Brandmelders zu.	3 3	5	
3	*Kompetenzen: Auswerten von Ergebnissen nach einfachen Verfahren, mathematisches Beschreiben physikalischer Phänomene (Fachmethoden)* Aus der Aktivität von 1g Am-241 lässt sich folgern, dass die Masse $m = \frac{37 \cdot 10^3}{1{,}27 \cdot 10^{11}} \cdot 1\text{g} \approx 2{,}9 \cdot 10^{-7}\text{g}$ benötigt wird. Berechnung der Aktivität von Am-241 nach 20 Jahren liefert $A(20\text{a}) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{432\text{a}} \cdot 20\text{a}} \approx A_0 \cdot 0{,}968$. Die Abnahme ist also geringer als 5%. Daher muss der Melder noch nicht ausgetauscht werden.	4	7	
4	*Kompetenzen: Darstellen von Sachverhalten in verschiedenen Darstellungsformen (Kommunikation), Auswählen und Verknüpfen von Daten, Fakten und Methoden (Fachkenntnisse)* Angabe der Zerfallsgleichung: $^{241}_{95}\text{Am} \longrightarrow {}^{237}_{93}\text{Np} + {}^{4}_{2}\text{He}$ Berechnung der freiwerdenden Energie aus dem Massendefekt: $\Delta m = 237{,}04817\text{u} + 4{,}00260\text{u} - 241{,}05683\text{u} \approx -6{,}06 \cdot 10^{-3}\text{u}$ $\Delta E = \Delta mc^2 = -9{,}06 \cdot 10^{-13}\text{J} \approx -5{,}7 \cdot 10^6\text{eV}$, es wird also eine Energie von etwa 5,7 MeV pro Kernumwandlung frei. Bei einer Aktivität von 37 kBq wird daher pro Sekunde eine Energie von $E = 37000 \cdot 5{,}7\text{ MeV} \approx 3{,}4 \cdot 10^{-8}\text{J}$ zur Ionisierung der Luft zugeführt. Damit ist die Strahlungsleistung mit $3{,}4 \cdot 10^{-8}$ W genügend groß für die Auswertung der Stromstärke.	3	8	6

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AB		
		I	II	III
5	*Kompetenzen: Einordnen und Erklären von physikalischen Phänomenen aus Natur und Technik (Reflexion), präzises Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen (Kommunikation)* Begründung mit Bezug auf die speziellen Eigenschaften der α-Strahlung, z.B.: Eine Gefährdung durch die α-Strahlung ist nur dann ausgeschlossen, wenn der Brandmelder unbeschädigt ist und das Americium seinen Platz im Brandmelder nicht verlässt. Die Überwachung des Einbaus und der Entsorgung ist notwendig, um zu verhindern, dass das Americium unkontrolliert in die Umgebung gelangt und schließlich über Wasser- oder Nahrungsaufnahme seine Wirkung im Inneren eins Menschen entfalten kann. Dann stellt nämlich die geringe Reichweite und die leichte Abschirmbarkeit keinen Schutz mehr dar.		**5**	
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	**19**	**25**	**6**
	prozentuale Zusammensetzung	**38**	**50**	**12**
	Summe der BE		**50**	